

立命館大学 大学院 学生員 〇森本 登也
 明石工業高等専門学校 正員 角田 忍
 立命館大学 理工学部 正員 明石 外世樹

1. まえがき

セメントペーストおよびモルタルの凝結過程を測定する方法として、貫入抵抗値や超音波パルスの速度変化などにより行われているが、これらの方法では測定によって得られる物性値が一点のみに着目されている。本研究は、円柱供試体の底部を加振し、強制振動における共振点および自由振動における減衰性状の測定による粘弾性定数と貫入抵抗値、圧縮強度また配合要因との関連を比較、検討し、総合的にペーストおよびモルタルの凝結硬化過程を考察したものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合 セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は豊浦標準砂を使用した。配合を表-1に示す。

2.2 実験方法 試料は強制練りミキサで3分間練り混ぜた後、ビニール製の円柱型枠(直径60mm)に高さが20cmになるように詰めた。ピックアップは、P・S・T系縦波振動子(共振振動数50kHz)に塩ビ製の円板(直径60mm)を取付けて使用した。振動測定装置を図-1に示す。共振点の測定は、連続信号を振動器に入力し、供試体の軸方向に縦振動を起こして最大振幅で測定した。減衰振動の測定は、GATE信号を振動器に入力し、1次共振点で測定した。圧縮試験は5cm×10cmの供試体を使用し、6,8,10,12,24時間にそれぞれ5本試験を行った。

2.3 解析方法 本研究では、ペーストおよびモルタルを粘弾性体とし、粘性型減衰を有する系の自由振動であるVoigtモデルにマスをとりのけたものと仮定し解析した。

縦弾性係数 E_d (kg/cm²)、縦波伝播速度 V_e (m/sec)、減衰比 D は次式により求めた。

$$E_d = 4 H^2 f_1^2 \rho, \quad V_e = 2 H f_1, \quad D = \delta / \sqrt{4 \pi^2 + \delta^2}$$

H : 供試体の長さ (cm), f_1 : 1次共振振動数 (Hz), ρ : 供試体の単位体積重量 (kg/cm³)

δ : 対数減衰率

3. 結果および考察

減衰波形を写真1~3に示す。減衰波形は測定開始後1~3時間くらいまでは、ペーストおよびモルタルが液体に並い挙動を示すので、波形の測定は困難である。(写真1)以後、凝結硬化が進行するにつれて波形は安定する。(写真2・3) 縦弾性係数と圧縮強度、縦波伝播速度と圧縮強度の関係をそれぞれ図-2に示す。圧縮試験は脱型時に試験が可能である時間から測定した。 E_d が1000 kg/cm²以上、 V_e が700 m/sec以上になると脱型が可能であると考えられる。減衰比と圧縮強度の関係を図-4に示す。 $W/c=25\%$ ペーストについて、圧縮強度が約200 kg/cm²に達するまでは、 D の減少にともなう強度の増進が小さい。それ以上になると D の時間変化のわずかな増加に対しても、強度が指数的に増加する。ペーストおよびモルタルの構造が形成されると、弾性的成分が粘性的成分よりも卓越することを示していると考えられる。圧縮強度と減衰比の関係は、配合には無関係であると考

表-1 配合

W/c	Factor
25%	paste, s/c=1:2
35%	paste, s/c=1:2, s/c=1:1
45%	paste, s/c=1:2, s/c=1:1

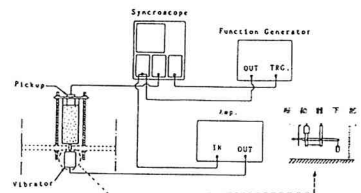


図-1 測定装置

$W/c=25\%$ $S/c=1:2$

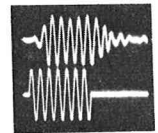


写真-1 経過時間
1時間

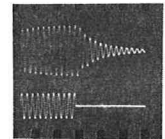


写真-2 経過時間
2時間

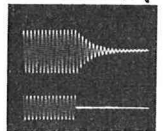


写真-3 経過時間
4時間

えられる。減衰比と貫入抵抗値の関係を図-5に示す。減衰比と貫入抵抗値は配合に無関係で貫入抵抗値が500psi付近で減衰比の時間変化が減少し、この値をこえると貫入抵抗値は指数的に増加する。ASTMでは貫入抵抗値が500psiを基準とし、500psi以下では再振動が可能であり、4000psiに達すると凝結が終了するとしている。貫入抵抗値が500psi付近までは、ペーストおよびモルタルの粘性的成分が弾性的成分より卓越するから再振動が可能であり、4000psi付近では減衰比の時間変化のわずかな変化に対しても貫入抵抗値が指数的に増加して、ペーストおよびモルタルの構造が形成され凝結が終了すると考えられる。縦弾性係数と貫入抵抗値の関係を図-6に示す。貫入抵抗値が500psi、縦弾性係数が $2.0 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ 付近で変化点がある。この変化点は凝結硬化過程で弾性的成分が粘性的成分より卓越する段階へ移行する変化点で、この点を境に飛躍的にペーストおよびモルタルの内部組成の構造が確立されていくと考えられる。この変化点は図-8に示した縦波伝播速度と貫入抵抗値の関係の図についても貫入抵抗値が500psi、縦波伝播速度が300m/sec付近に存在する。図-7、図-9はそれぞれ図-6、図-8における貫入抵抗値を対数にとりプロットした図である。貫入抵抗値Pと縦弾性係数Edおよび縦波伝播速度V_Lには次の関係式が存在する。

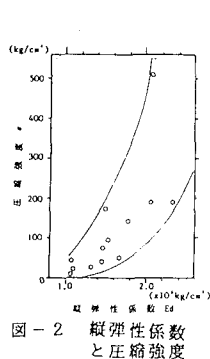


図-2 縦弾性係数と圧縮強度

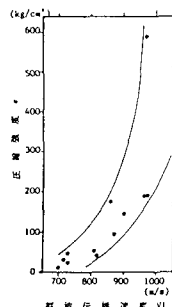


図-3 縦波伝播速度と圧縮強度

縦弾性係数が $2.0 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ 付近で変化点がある。この変化点は凝結硬化過程で弾性的成分が粘性的成分より卓越する段階へ移行する変化点で、この点を境に飛躍的にペーストおよびモルタルの内部組成の構造が確立されていくと考えられる。この変化点は図-8に示した縦波伝播速度と貫入抵抗値の関係の図についても貫入抵抗値が500psi、縦波伝播速度が300m/sec付近に存在する。図-7、図-9はそれぞれ図-6、図-8における貫入抵抗値を対数にとりプロットした図である。貫入抵抗値Pと縦弾性係数Edおよび縦波伝播速度V_Lには次の関係式が存在する。

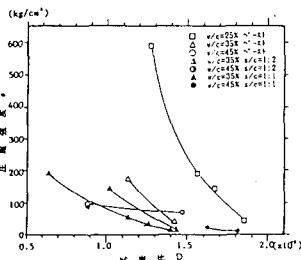


図-4 減衰比と圧縮強度

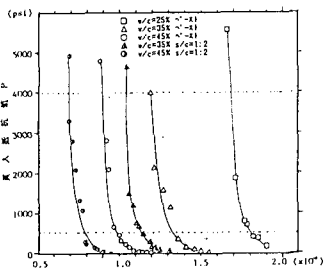


図-5 減衰比と貫入抵抗値

Log P = $1.69 + 4.65 \times 10^{-4} \cdot E_d$
Log P = $0.864 + 6.16 \times 10^{-3} \cdot V_L$
ここで P: 貫入抵抗値 (psi)
E_d: 縦弾性係数 (kg/cm²)
V_L: 縦波伝播速度 (m/sec)

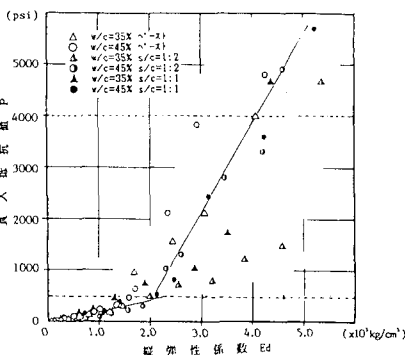


図-6 縦弾性係数と貫入抵抗値

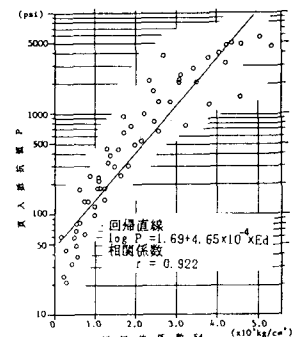


図-7 縦弾性係数と貫入抵抗値

上の式のそれぞれの相関係数は $r=0.922$,
 $r=0.955$ であり高い相関を示している。

4. まとめ

凝結硬化過程における共振現象、減衰性状などの動的現象は、試料内部組成の経時変化と密接な関係があり、貫入抵抗値は、縦振動時の縦波伝播速度、縦弾性係数といった物性値と対応関係があると考えられる。

参考文献: 1) 石原, 土質力学の基礎, 鹿島出版

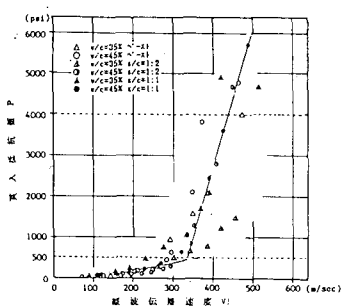


図-8 縦波伝播速度と貫入抵抗値

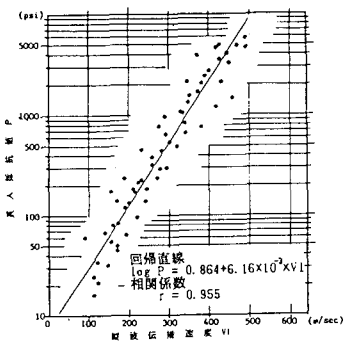


図-9 縦波伝播速度と貫入抵抗値